

ペタフロップス級計算機に向けた次世代CFDの研究開発
Research and Development of Next-Generation CFD
for Peta-Flops Computers

中橋 和博 (NAKASHI KAZUHIRO)
独立行政法人 宇宙航空研究開発機構・理事



研究の概要

計算機性能の更なる向上を念頭に、等方直交格子をベースとする Building-Cube Method を中心とした次世代流体ソルバーを開発し、同時に空力形状最適化や空力騒音低減等への応用研究を加速して、シミュレーション技術の高度化を通じて航空機をはじめとする流体機械の高性能化と環境適合化に資することを目的とする。

研究分野：総合工学

科研費の分科・細目：航空宇宙工学

キーワード：数値流体力学、航空機、最適化、空力音

1. 研究開始当初の背景

現在の数値流体力学 (CFD) は、90 年代から 2000 年代に掛けて研究開発された非構造格子を用いるソルバーが主に使われている。任意形状周りに計算格子を生成するのが容易であることが実用上の利点である。三菱航空機の旅客機 MRJ の空力設計・解析には、本研究課題の代表者が開発した非構造格子 CFD ソルバーが活用されている。

しかし、非構造格子 CFD は空間精度が不十分であるために航空機の翼端渦や空力音の解析には膨大な格子点を必要とする。今後のペタフロップス級のスーパーコンピュータを用いた大規模計算時には、格子生成や後処理の負荷が実用上のボトルネックとなることが予想される。高性能計算機を使う時代には非構造格子に代わる新しいアプローチの次世代 CFD の開発が求められている。

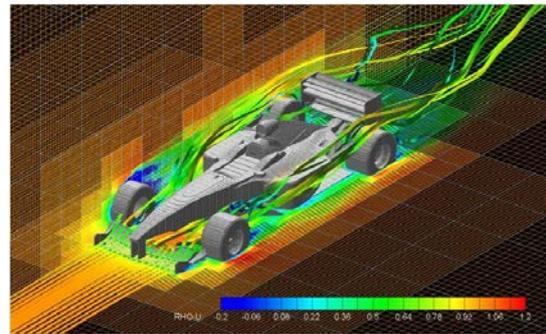
2. 研究の目的

本研究は、計算機性能のますますの向上を念頭に、等方直交格子をベースとする次世代 CFD アルゴリズムを世界に先駆けて構築し、同時に空力形状最適化や空力騒音低減等への応用研究を加速して、シミュレーション技術の高度化を通じて航空機をはじめとする流体機械の高性能化と環境適合化に資することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、次世代スーパーコンピュータ

の能力を可能な限り引き出すために、等方等間隔直交格子をベースとする CFD の構築を目指す。従来の直交格子の問題点を解決し且つ大規模並列計算機での利用を念頭に、キューブ状計算領域を積み上げる Building-Cube Method (BCM) をコアとする CFD ソフトである。このアプローチにより、従来の非構造格子 CFD では半日から数日要していた格子生成を数分にまで短縮する。また、基本となる直交格子ソルバーでの高精度化を図り、キューブ構造による大規模並列計算やデータ圧縮での後処理の負荷も大幅に低減する。

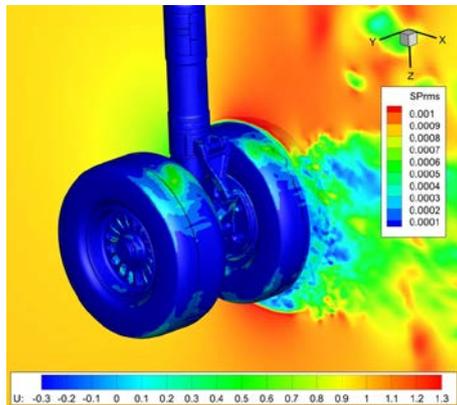


BCM の計算例

4. これまでの成果

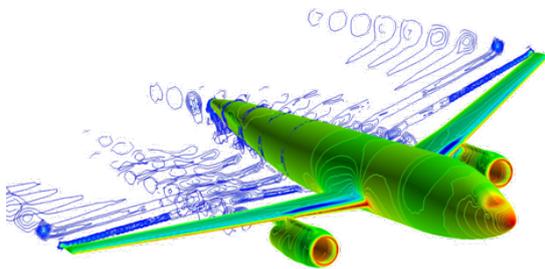
(1) 航空機の脚からの空力音解析：埋め込み境界法および壁関数を Building-Cube Method の枠組みに導入して非圧縮性流体のソルバーを構築した。また、航空機の脚のよ

うな複雑な形状でも高速に格子を生成するツールを開発し、脚からの風切り音解析を進めた。従来の計算法では極めて困難な解析を実用化しており、今後の航空機騒音の低減に役立つことが期待される。



JAXA 脚モデル周りの非定常流解析例

(2) Euler ソルバー：圧縮性流体用の埋め込み境界法を開発し、航空機周りの非粘性流の効率良い解析を可能とした。Building-Cube Method の高速で信頼性の高い格子生成、ブロック型ソルバーの高速性と相まって、航空機のような流線形状の空力最適化を効率的に行うために重要な成果である。

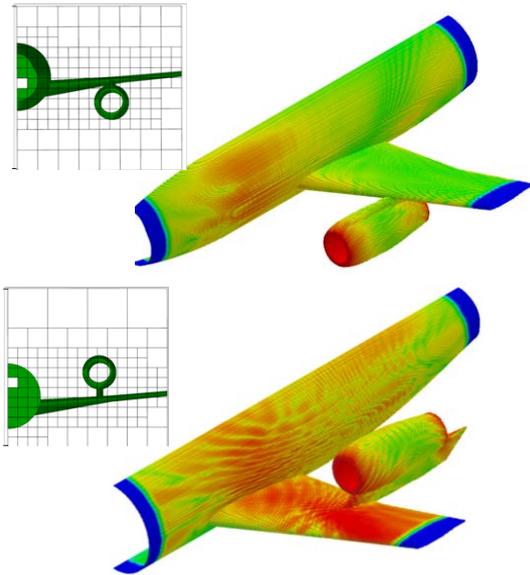


航空機周りの非粘性流計算例

更に移動壁境界法を開発し、翼のフラッター計算へと拡張した。その結果は既存の計算結果と同等の精度を持つことを確認した。超音速域でのフラッター境界予測の精度にまだ問題が残されているものの、既存の方法に比べ計算時間が大幅に短縮され、実用的なフラッター解析ソフトが構築できよう。

(3) 線形化 Euler ソルバー：音の伝播解析のための線形化 Euler (LEE) ソルバーを Building-Cube Method のフレームワークで構築した。航空機形状におけるエンジンのファンノイズの伝播解析を行い、エンジンを主翼上部に装着する形態ではファンノイズを翼で効果的に遮蔽することの効果を確認した。3次元実形状を効率良く扱える線形化 Euler ソルバーとして大きな成果であり、空力騒音問題での解析や形状最適化などで有

効なソフトになるであろう。



エンジンファンノイズの LEE 解析例

5. 今後の計画

これまでに開発した Building-Cube Method に基づくソルバー群について、その精度検証と高速化を進めるとともに、応用研究として従来のソルバーでは困難であった高度な空力最適化、空力音源および伝播解析と低減対策、あるいは任意物質の熱流動計算の実用化、これらに伴い次世代高性能計算機アーキテクチャーを加味した高速化を図っていく。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

- 1) 福島裕馬, 佐々木大輔, 中橋和博, “ブロック構造型直交格子と IB 法を用いた LEE コードの構築”, 日本航空宇宙学会論文集, 第 60 巻, 第 1 号, pp. 56-63, 2012.
- 2) A. Deguchi, D. Sasaki, K. Nakahashi, M. Murayama, K. Yamamoto, Y. Yokokawa, “Aeroacoustic Simulation of JAXA Landing Gear by Building-Cube Method and Non-compact Curle's Equation”, AIAA 2012-0388, 50th AIAA Aerospace Sciences Meeting, Jan. 2012.
- 3) K. Nakahashi, “Immersed Boundary Method for Compressible Euler Equations in the Building-Cube Method,” AIAA 2011-3386, 20th AIAA Computational Fluid Dynamics Conference, June 2011.
- 4) T. Soga, A. Musa, K. Okabe, K. Komatsu, R. Egawa, H. Takizawa, H. Kobayashi, S. Takahashi, D. Sasaki, K. Nakahashi, “Performance of SOR methods on modern vector and scalar processors”, Computers & Fluids, Vol.45, No. 1, pp.215-221, 2011.
- 5) K. Komatsu, T. Soga, R. Egawa, H. Takizawa, H. Kobayashi, S. Takahashi, D. Sasaki, K. Nakahashi, “Parallel Processing of the Building-Cube Method on a GPU Platform”, Computers & Fluids (査読有り), Vol.45, No. 1, pp.122-128, 2011.

ホームページ等：準備中